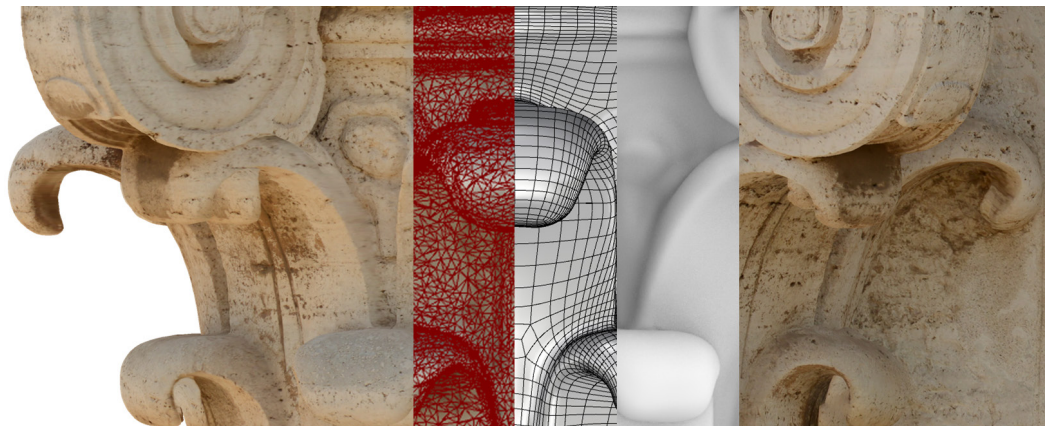
43° Convegno Internazionale
dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione
Congresso della Unione Italiana per il Disegno - Atti 2022

# Sulla qualità geometrica del modello di rilievo

Graziano Mario Valenti
Alessandro Martinelli

*Abstract*

La trasformazione di un dato strumentale discreto, puntuale, in dato continuo, geometrico, è ancora oggi un passaggio critico nella definizione di modelli conoscitivi prodotti dall'attività di rilievo architettonico. L'eterogeneo panorama metodologico e strumentale a disposizione dei ricercatori, generalmente impiegato nella fase di acquisizione ed elaborazione del dato quantitativo, è ricco di insidie ed ambiguità operative, che possono distrarre dagli obiettivi che la nostra comunità del Disegno ha sempre associato alla definizione di modelli e alla conseguente rappresentazione di quanto rilevato. La ricerca, analizzando lo stato dell'arte, riflette sulla natura dei processi che caratterizzano le principali metodologie operative della trasformazione dal discreto al continuo e, attraverso piccoli esempi applicativi, propone alcune possibili soluzioni per superare o affievolire le relative criticità; sensibilizza infine la comunità scientifica a dedicare un impegno costante nell'individuare e perfezionare nuove soluzioni, guidando lo sviluppo delle tecnologie di supporto.

*Parole chiave*
Rilievo architettonico, modelli conoscitivi, geometria della forma, free forms, scan to BIM

*Topic*
Sperimentare

Un problema non ancora univocamente risolto: la trasformazione del modello discreto in un modello continuo.



doi.org/10.3280/oa-832-c183

## Qualità discreta o continua della forma architettonica

Nel rilievo dell'architettura, la forma che osserviamo ha una qualità continua o discreta?
Non possiamo rispondere a questa domanda fermandoci all'esame degli aspetti tangibili della forma da rilevare; finiremo così per perderci nelle teorie della fisica quantistica e a chiederci "se la Luna esiste quando non la osserviamo". Dobbiamo invece focalizzare gli aspetti intangibili e, fra questi, uno in particolare: il progetto. Stiamo parlando del progetto in forma di modello, inteso dunque in ognuna delle sue forme di manifestazione, da quello più iniziale puramente mentale, a quello più esecutivo: nella storia fisico, grafico e oggi perlopiù digitale. Ebbene, crediamo sia opinione condivisibile, che alla base di ogni forma prodotta artificialmente dall'essere umano vi sia un progetto, un'idea -anche solo primitiva- che ha fatto scaturire nella mente un segno, che attraversando eterogenei modelli di rappresentazione, giunge nello spazio reale per essere forma, per esempio architettonica. Quel segno, nella mente che lo ha ideato, ha - nella norma - qualità "continua": non è una sequenza di punti\atomi, è l'espressione di un percorso, prima mentale, poi grafico e geometrico. Ed è questa qualità intangibile che, nel ruolo di studiosi ed interpreti della forma architettonica, tentiamo di fare propria in fase di rilievo. Questo principio primario e dalla natura esistenziale per il rilievo nel periodo "analogico" corre il rischio di assumere un ruolo secondario nello svilupparsi del comune operare con le metodologie e gli strumenti digitali, ove regna il campionamento massivo della qualità "discreta". Circa 20 anni fa, con le prime sperimentazioni di acquisizione digitale dell'architettura a mezzo di scansione Laser, i "maestri" del tempo posero sul tavolo il problema della conversione della nuvola di punti in una forma geometrica. A distanza di questo lungo periodo, osservando la direzione verso la quale sono procedute le principali soluzioni, sembra che il problema posto fosse prevalentemente di tipo tecnico, mentre era squisitamente filologico. Abbiamo dunque sentito la necessità di ripercorre le tappe chiave del processo di trasformazione, dal discreto della nuvola di punti al continuo del modello geometrico, per riflettere ed evidenziare le criticità di questo processo, ove gli aspetti filologici e interpretativi possono sfuggire,a favore di soluzioni puramente quantitative. L'aggettivazione "interpretativo", con riferimento al rilievo, ha avuto fortune alternanti nella storia della disciplina, secondo il prevalere dei ricercatori affascinati più dalle scienze esatte o da quelle umane. È nostra opinione, immaginiamo condivisa, che il rilievo architettonico non debba mai ridursi ai solo aspetti quantitativi della misura, ma che questi siano le fondamenta per una successiva interpretazione critica, che consenta al rilievo di perfezionarsi con gli aspetti qualitativi [Parrinello 2016]. L'interpretazione, per quanto attività palesemente soggettiva, non pone criticità a riguardo dell'oggettività del rilievo, che oggi -grazie all'integrazione digitale- può e deve scaturire dalla condivisione e dalla stratificazione temporale della conoscenza e dalla conseguente emergenza dei risultati concordanti delle operazioni di rilievo, che di più casi potrà fare norma.

## Stato dell'arte

Fra i prodotti del rilievo è in crescita il fenomeno della diretta rappresentazione della nuvola di punti; la tecnologia consente oggi un elevato dettaglio di acquisizione sia metrica, sia cromatica, tale da poter realizzare elaborati bidimensionali -prodotto del rilievo- per mezzo della sola rappresentazione di proiezioni ortografiche della nuvola di punti. Questa rappresentazione registra, "riflette", ma non descrive, nel senso critico del termine, lo spazio rilevato, la cui interpretazione è demandata ad un futuro fruitore. Un elaborato grafico, dunque, che è certamente uno dei prodotti del rilievo, ma non ne esaurisce gli obiettivi. Il rilievo architettonico, in particolare considerato nello specifico della nostra area disciplinare, non può esulare da una lettura critica, che attinga alle fondamenta teoriche e metodologiche caratterizzanti la medesima area. Per questa ragione il nostro interesse focalizza le trasformazioni necessarie a trasformare la nuvola di punti in un modello più "informato" della sola riproduzione fotografica, percorso peraltro obbligato quando la nuvola di punti debba trasformarsi in una superficie o un volume geometrico [Hichri 2013]. Lo scenario operativo della trasformazione dal discreto al continuo segue oggi prevalentemente tre percorsi: quello manuale, quello semiautomatico, quello automatico.

Il percorso manuale è sostanzialmente un ricalco della nuvola di punti. Se da un lato questa operazione vede positivamente prevalere l'aspetto critico di chi opera nell'interpretare e tradurre la nuvola di punti, dall'altro introduce un livello di incertezza e di indeterminatezza tale da interrompere la continuità scientifica fra il dato quantitativo rilevato e la sua rappresentazione [Tang 2010].
Il percorso automatico si declina prevalentemente in due diverse modalità.
La prima modalità consiste nella segmentazione automatica della nuvola in superfici elementari e primarie (piani, sfere, cilindri, coni, tori), individuabili su diverse parti di essa [Croce 2019]. In questo caso il processo di segmentazione automatica della nuvola di punti e la contestuale traduzione nelle superfici continue che descrivono le parti individuate, certamente mantiene la qualità scientifica del dato rilevato, ma descrive il "disinformato com'è" non "l'informato com'è". Con queste due aggettivazioni si vuole evidenziare la differenza esistente fra due modelli geometrici, ove le superfici individuate: nel primo semplicemente ottimizzano il dato quantitativo; nel secondo, opportunamente gerarchizzate e relazionate fra di loro, lo normalizzano. Operazioni, queste ultime, che possono solo scaturire da una documentazione\lettura\interpretazione filologica e critica del progetto.
La seconda modalità, basata su sistemi esperti di Intelligenza Artificiale, ricerca nella nuvola di punti le qualità visive e la distribuzione spaziale dei punti analoghe a quelle presenti nella sua base di conoscenza; ove il riscontro risulti positivo, la procedura può segmentare e/o caratterizzare la nuvola di punti e, potenzialmente, sostituire al modello discreto della parte individuata il modello geometrico e parametrico presente nella base di conoscenza [Zhang 2019]. L'avverbio "potenzialmente" è d'obbligo, poiché la varietà della forma architettonica esistente è tale, rispetto alle basi di conoscenza disponibili, che ad oggi siamo ben lontani dal potere ottenere un risultato criticamente soddisfacente, senza che, in una fase successiva, intervenga comunque l'intelletto umano.
Il percorso semiautomatico, infine, è considerato dalla comunità scientifica il più idoneo a produrre un risultato descrittivo qualitativamente migliore: naturalmente a scapito di un consistente impegno di risorse intellettive, computazionali e temporali [Croce 2021]. Intellettive perché l'interpretazione richiede competenze diverse che operano sulla base del noto, ma anche di nuove attività di studio che svelano l'ignoto; computazionali perché si avvale, comunque, di operazioni di calcolo che indirizzano o verificano le ipotesi via via individuate; temporali perché, naturalmente, entrambe le risorse necessarie indicate non hanno carattere di immediatezza.

## Per una metodologia critica di modellazione geometrica assistita

Il percorso semiautomatico, che dal discreto procede verso il continuo, facendo contestualmente evolvere un dato quantitativo in una informazione qualitativa, si declina diversamente secondo la natura dell'oggetto da rilevare.
In via generale possiamo distinguere gli elementi architettonici acquisibili in forma discreta durante una campagna di rilievo, nella seguente casistica di descrivibilità in forma geometrica continua (fig. 01):
- non descrivibili;
- parzialmente descrivibili;
- descrivibili.

Il dato discreto di una operazione di rilievo è in generale una nuvola di punti, prodotta da una o più tecnologie complementari (Scansione Laser, IBM, SfM, etc.), perfezionate nell'orientamento e consolidate negli aspetti metrici da un ulteriore limitato e ragionato insieme di punti di controllo, nella norma realizzati con la stazione totale. Nelle successive trasformazioni dal dato discreto al dato continuo, qualunque sia il caso di descrivibilità della forma, è necessario procedere alle seguenti operazioni:
- normalizzazione del dato
- segmentazione.
- orientamento

Con il termine di normalizzazione, vogliamo raggruppare le operazioni di riduzione del rumore della nuvola di punti, ricalcolo delle normali e deventuale diminuzione del campionamento (fig.02).

Fig. 01. L' Arco di Tito, al Foro Romano, è un notevole esempio di compresenza di partizioni architettoniche descrivibili (!), parzialmente descrivibili (≈) e non descrivibili (?) in forma geometrica.

Queste operazioni sono rese disponibili in varie forme dagli attuali software di elaborazione delle nuvole di punti. Nell'applicarle bisogna sincerarsi che non vi sia una modifica del dato "oggettivo-strumentale" originario, ma solo una sua accorta selezione. Ad esempio, la riduzione del rumore dovrebbe eliminare i punti singolari, rispetto alla distribuzione rilevata sulla nuvola, ma non procedere ad uno smusso globale di tutti i punti, che determinerebbe per essi una nuova posizione. In modo analogo, qualora fosse necessario ridurre la quantità dei dati su cui operare, si deve procedere ad un *sub-sampling*, operazione che estrae un numero ridotto dei punti oggettivi, ma non ad un *re-sampling,* che genererebbe una nuova nuvola perdendo l'identità con i punti rilevati.
Il ricalcolo delle normali, pur configurandosi come trasformazione del dato oggettivo-strumentale rilevato, nelle esperienze condotte è apparso un utile strumento correttivo, poiché non modifica la posizione dei punti e contribuisce a perfezionare le informazioni della superficie cui appartengono. Durante le fasi di importazione ed esportazione dei file da un software all'altro è possibile che alcune fra queste evidenziate come sconsigliabili attività siano eseguite dal software senza che chi opera ne sia consapevole (fig. 03).

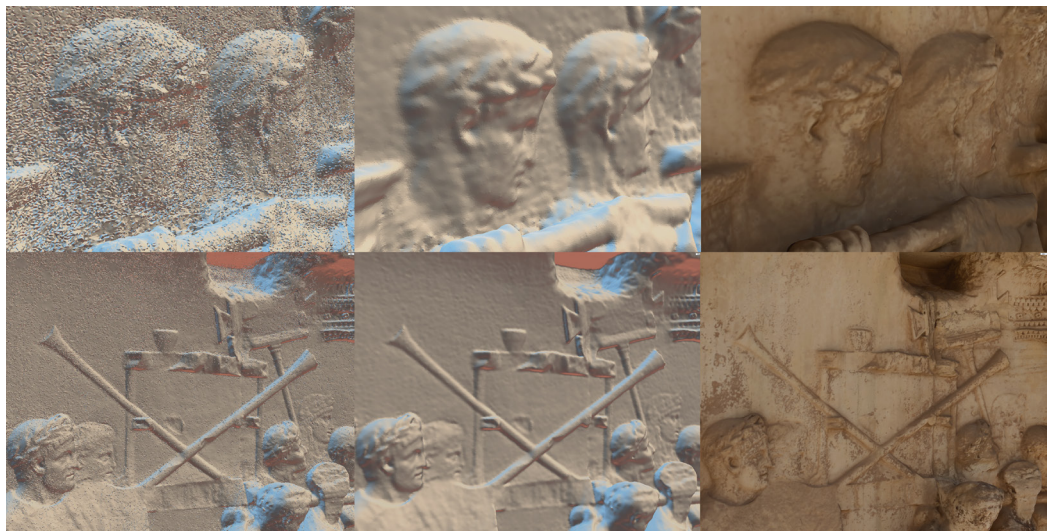



Fig. 02. Ricalcolo delle normali associate alla nuvola dei punti e applicazione di algoritmo di riduzione del rumore. Vista parziale e di dettaglio del modello poliedrico prodotto via Image Based Modeling. Apparato scultoreo fornice Arco di Tito, lato sud ovest: ingresso del corteo nella Porta Triumphalis. Immagine degli autori.

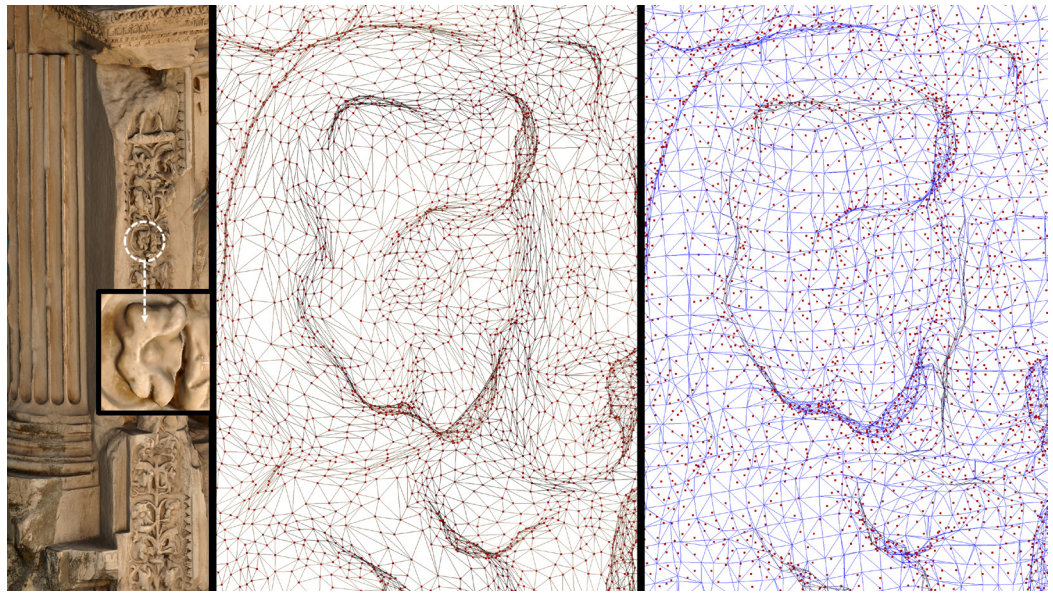



Fig. 03. Operazioni di normalizzazione, pulizia ed esportazione, possono generare, nuovi modelli poliedrici (a sinistra), percettivamente analoghi, ma non più corrispondenti alla nuvola di punti misurata (al centro). Immagine degli autori.

La segmentazione della nuvola in parti minori è necessaria per condurre nel modo meno equivoco possibile le attività di riconoscimento automatico delle superfici appartenenti alla nuvola dei punti [Xie 2020]. Algoritmi come il Ransac [Schnabel 2007], sono in grado di individuare gruppi di punti la cui distribuzione è associabile a piani, sfere, coni, cilindri, tori. Teoricamente questo genere di algoritmi potrebbe operare sulla nuvola intera, ma l'esperienza applicativa insegna che fornire dati selettivi consente di ottenere risultati migliori e meno ambigui. Il riconoscimento automatico, delle superfici è fondamentale per definire l'esattezza del loro orientamento. Per esempio, l'individuazione del cilindro che meglio approssima il primo terzo inferiore di una colonna, fornisce evidenti indicazioni sulla verticalità o meno del suo asse. In modo analogo, la distribuzione dei centri dei tori della base può fornire chiara indicazione sul centraggio del fusto sulla medesima (Fig. 04).
Consolidate le tre operazioni comuni di normalizzazione del dato, il completamento del percorso è significativamente diverso, secondo la forma acquisita.

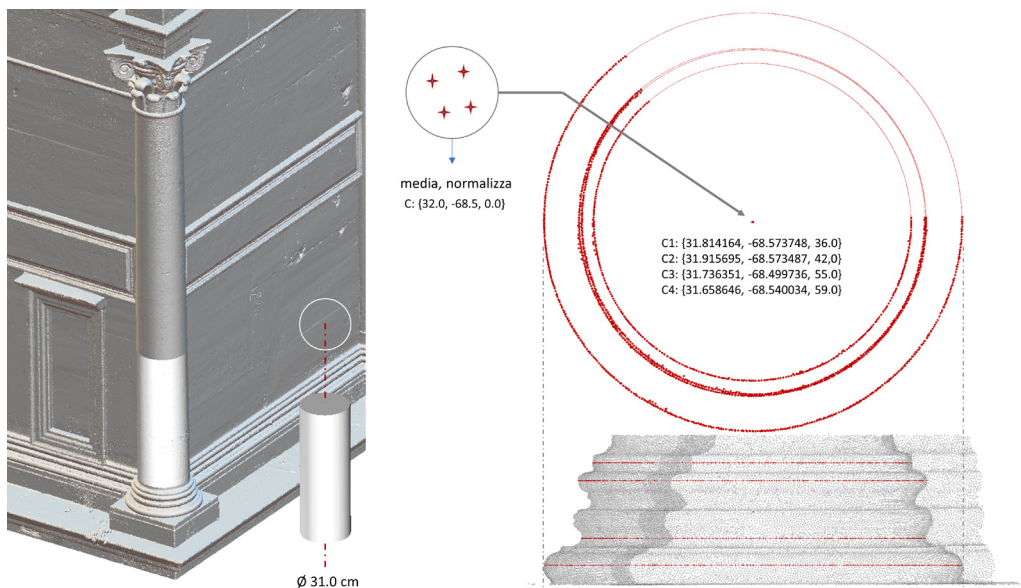



Fig. 04. L'algoritmo best-*fit*, rispetto a cilindro e circonferenze, utilizzato per individuare il diametro e l'asse del fusto della colonna e il centro più probabile della base. Le misure individuate, sono normalizzate e interpretate prima di essere utilizzate nella modellazione. Immagine degli autori.

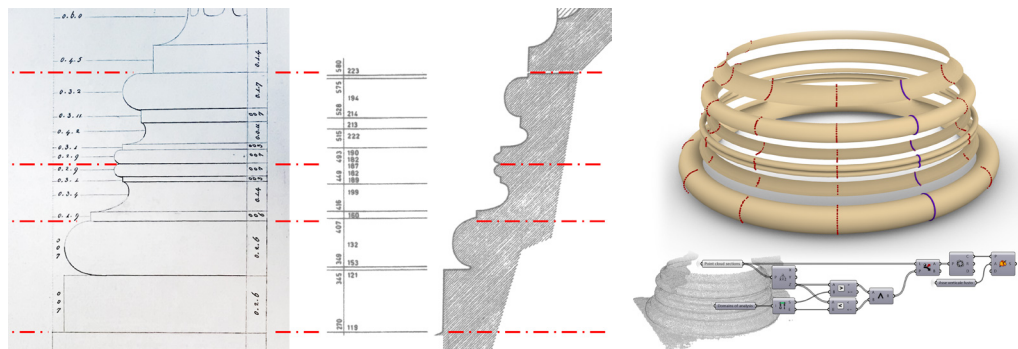
## Elementi di forma geometrica descrivibile

Negli elementi descrivibili, la rappresentazione digitale in forma geometrica continua è guidata dalla documentazione di progetto reperita o dall'interpretazione filologica sostitutiva (fig. 05) [Rossini 1836; Pfnanner 1983]; operazioni nelle quali la misura servirà di solo riferimento per verificare e comprendere l'eventuale distanza esecutiva o intervenuta per l'azione del tempo. Il modello geometrico sarà dunque concepito con riferimento alla sua forma ideale, ma con elevato livello di parametrizzazione, tale da poter assumere -in opera digitale- oltre che le ovvie variazioni dimensionali, anche quelle di lieve fuori squadro e fuori piombo che caratterizzano comunemente l'architettura costruita. Le misure da associare al modello parametrico saranno logicamente normalizzate, da un lato a valori decimali coerenti con l'incertezza del rilievo, dall'altro alla ipotetica misura di progetto e di produzione: valore soglia che, per entrambe le ragioni, difficilmente è ipotizzabile essere inferiore ai 3 mm. In altre parole: non avrebbe significato associare ad un modello parametrico una misura -prodotto di elaborazioni- che valorizzi il centesimo di millimetro; non essendo essa significativa né della precisione strumentale, né di una misura progettuale, né ancora di una precisione di lavorazione (fig. 06).

## Elementi di forma geometrica non descrivibile

Negli elementi non descrivibili, come apparati decorativi e scultorei, ove il dettaglio millimetrico, ricopre un ruolo non trascurabile per la descrizione dell'opera, la strada preferibile, che equilibra aspetti computazionali e qualità di rappresentazione, è ancora oggi la rappresentazione poliedrica (mesh). La più semplice e idonea per rappresentare il continuo e millimetrico alternarsi fra spigolo vivo e superfici smussate. Il modello, in questo modo, non è sostanzialmente informato, ma possiamo considerare sia giusto così, poiché descrive forma libera, intuitiva, che non contiene un'idea progettuale nell'accezione geometrica del termine.

Fig. 05. Rilievo della base dell'ordine composito dell'Arco di Tito. Pfanner (1993) sceglie di restituire il solo dato quantitativo: il "com'è". Rossini (1836) caratterizza il dato quantitativo, con il geometrico qualitativo: non è propriamente un modello ideale, piuttosto un "informato com'è".

Fig. 06. Superfici toroidali della base dell'ordine composito, ideato da Raffaele Stern per il restauro dell'Arco di Tito, ad integrazioni dei resti originali romani. Il modello di rilievo interpretativo della forma, fondato sul dato qualitativo, viene adattato e collaudato sul dato quantitativo. Immagine degli autori.

## Elementi di forma geometrica parzialmente descrivibile

Infine, gli elementi parzialmente descrivibili, si presentano con parti geometricamente riconoscibili e altre parti di forma irregolare, libera. Normalmente sono partizioni architettoniche compromesse nella forma dall'azione del tempo o caratterizzate dalla compresenza di elementi geometrici alternati a parti decorative di forma libera. In questi casi potremmo naturalmente procedere con un modello poliedrico, perfettamente attinente al dato quantitativo, ma sarebbe privo di informazioni geometriche qualitative; in alternativa potremmo procedere con un modello geometrico qualitativo, che tuttavia potrebbe distaccarsi significativamente dal dato quantitativo.
La terza via, che ci sentiamo di consigliare in questi casi, è quella del remeshing [Lucidi 2021], automatico ma attentamente regolato, del modello quantitativo, finalizzato alla definizione di un modello di superfici SubD [Catmull 1978; Stam 1998; Li 2009]. S

e eseguita con particolari accortezze, questa procedura rispetta e ottimizza notevolmente il dato quantitativo e può conservare alcune informazioni qualitative riguardanti la geometria rappresentata: simmetrie, allineamenti, radialità, generatrici e direttrici (fig. 07).

## Conclusioni

Il rilievo architettonico, così come caratterizzato nei principi teorici e metodologici dell'area scientifica disciplinare del Disegno, è opportuno che abbia sempre al centro del suo focus operativo la presenza di un atto critico, che non si limiti a registrare l'esistenza dell'opera, ma ne sveli i principi formali. Gli automatismi procedurali, ogni giorno sempre più diffusi, accelerano processi e forniscono strumenti che tolgono spazio alla riflessione critica e alla corretta e "informata" rappresentazione del dato rilevato; nel presente, la loro utilizzazione va attentamente codificata e nel futuro, il loro sviluppo va fortemente guidato. È importante, dunque, che la comunità del Disegno continui ad alimentare con impegno la visione, gli obiettivi e i principi fondanti del rilievo architettonico che le è più proprio.

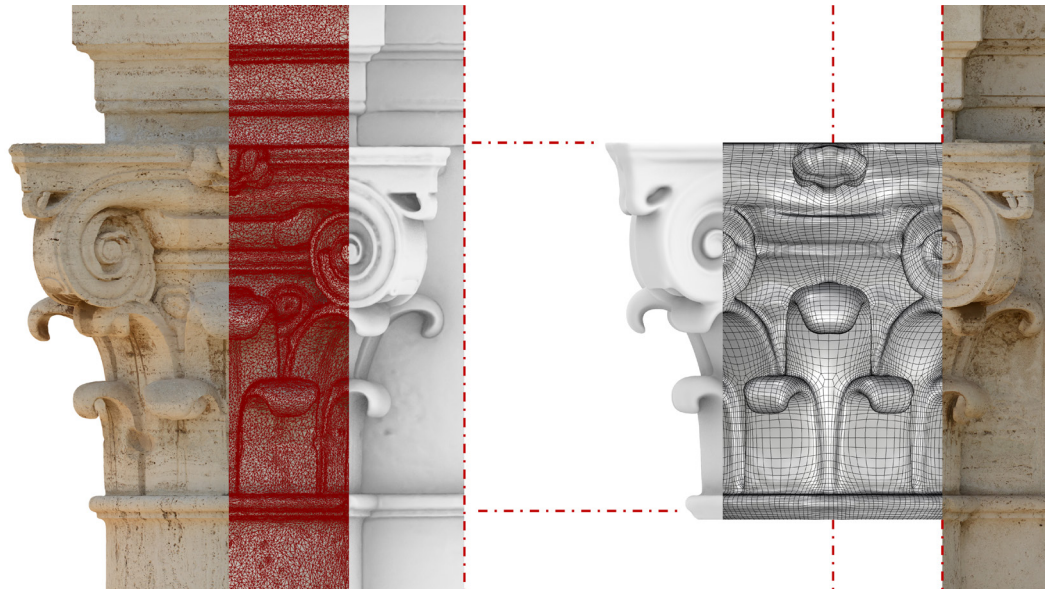



Fig. 07. Il *remeshing* di modelli poliedrici a mezzo di superfici SubD, se correttamente guidato può ottimizzare la rappresentazione della forma libera e allo stesso tempo mantenerne evidenti alcune proprietà geometriche. Immagine degli autori.

Riferimenti bibliografici

Catmull, E., & Clark, J. (1978). Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. Computer-aided design, 10(6), 350-355.

Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Jacquot, K., Piemonte, A., & Véron, P. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. *Remote Sensing*, 13(3), 461.

Croce, V., Caroti, G., Piemonte, A., & Bevilacqua, M. G. (2019, December). Geomatics for Cultural Heritage conservation: Integrated survey and 3D modeling. In *Proceedings of the IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo, Florence, Italy* (pp. 4-6).

Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P., & Hamon, G. (2013). From point cloud to BIM: a survey of existing approaches. In *XXIV International CIPA Symposium* (p. na). Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium.

Li, X., Han, C. Y., & Wee, W. G. (2009). On surface reconstruction: A priority driven approach. *Computer-Aided Design*, 41(9), 626-640.

Lucidi, A., Giordano, E., Clementi, F., & Quattrini, R. (2021). Point Cloud Exploitation for Structural Modeling and Analysis: a Reliable Workflow. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 43, 891-898.

Parrinello, S., Picchio, F., & Bercigli, M. (2016). The 'migration'of reality in virtual scenarios: databases and documentation systems for the musealization of complex environments. *Disegnarecon*, 9(17), 14-1.

Pfanner, M., & Hess, U. , Schwanke, H.. (1983). Der Titusbogen Mainz am Rhein Verlag Philipp von Zabern.

Rossini, L. (1836). Gli archi trionfali onorarii e funebri degli antichi romani sparsi per tutta Italia disegnati, misurati, ristaurati ed incisi : opera architettonica, pittorica, e figurativa. Roma presso l'autore.

Stam, J. (1998, July). Exact evaluation of Catmull-Clark subdivision surfaces at arbitrary parameter values. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 395-404).

Schnabel, R., Wahl, R. and Klein, R. (2007), Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. Computer Graphics Forum, 26: 214-226. https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2007.01016.x

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques.
*Automation in construction,* 19(7), 829-843.

Turco, M. L., & Santagati, C. (2016, October). From SfM to semantic-aware BIM objects of architectural elements. In *Euro-Mediterranean conference* (pp. 600-612). Springer, Cham.

Xie, Y., Tian, J., & Zhu, X. X. (2020). Linking points with labels in 3D: A review of point cloud semantic segmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(4), 38-59.

Zhang, J., Zhao, X., Chen, Z., & Lu, Z. (2019). A review of deep learning-based semantic segmentation for point cloud. *IEEE Access*, 7, 179118-179133.

Autori
*Graziano Mario Valenti,* Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, grazianomario.valenti@uniroma1.it
*Alessandro Martinelli,* Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, alessandro.martinelli@uniroma1.it

*Per citare questo capitolo*: Valenti Graziano Mario, Martinelli Alessandro (2022). Sulla qualità geometrica del modello di rilievo/On the geometric quality of the survey model. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2937-2952.

 Isbn 9788835141938

43rd International Conference
of Representation Disciplines Teachers
Congress of Unione Italiana Per Il Disegno - Proceedings 2022

# On the geometric quality of the survey model

Graziano Mario Valenti
Alessandro Martinelli

*Abstract*

The transformation of a discrete, punctual, continuous, geometric instrumental data is still today a critical step in the definition of knowledge models produced by the architectural survey activity. The heterogeneous methodological and instrumental landscape available to researchers, generally employed in the phase of acquisition and processing of the quantitative data, is full of pitfalls and operational ambiguities, which can deviate from the objectives that our community of *Disegno* has always associated with the definition of models and the consequent representation of what has been surveyed. The research, analyzing the state of the art, meditate on the nature of the processes that characterize the main operational methodologies of the transformation from discrete to continuous and, through small application examples, proposes some possible solutions to overcome or weaken the related critical issues; finally, it sensitizes the scientific community to devote a constant commitment to identifying and perfecting new solutions, guiding the development of support technologies.

*Keywords*
Architectural survey, knowledge models, shape geometry, free forms, scan to BIM

*Topic*
Experimenting

A problem not yet uniquely solved: the transformation of the discrete model into a continuous model.



doi.org/10.3280/oa-832-c183

## Discrete or continuous quality of the architectural form

In the architectural survey, does the shape we observe have a continuous or discreet quality? We cannot answer this question by stopping at the examination of the tangible aspects of the shape to be detected; in this way we will end up getting lost in the theories of quantum physics and wondering "if the Moon exists when we don't observe it". Instead, we must focus on the intangible aspects and, among these, one in particular: the design. We are talking about the design in the form of a model, therefore understood in each of its forms of manifestation, from the most initial purely mental one, to the most executive, historically physical, graphic and today mostly digital one. Well, we believe it is a shared opinion, that at the base of every form produced artificially by the human being there is a design, an idea – even if only primitive – which gave rise to a sign in the mind, which, crossing heterogeneous models of representation, reaches real space to be form, for example architectural.
That sign, in the mind that created it, has – in the norm – "continuous" quality: it is not a sequence of points/atoms, it is the expression of a path, first mental, then graphic and geometric. And it is this intangible quality that, in the role of researcher and interpreters of the architectural form, we try to make our own, during the survey phase.
This primary principle and existential nature for the survey in the "analogical" period runs the risk today of assuming a secondary role in the development of the common operating with digital methodologies and tools, where the massive sampling of "discrete" quality reigns. About 20 years ago, with the first experiments in digital acquisition of architecture by means of laser scanning, the "*maestro*" of the time put on the table the problem of converting the point cloud into a geometric shape. After this long period, observing the direction in which the main solutions proceeded, it seems that the problem posed was mainly of a technical nature, while it was purely philological. We therefore felt the need to retrace the key stages of the transformation process, from the discrete point cloud to the continuum of the geometric model, to reflect and highlight the critical issues of this process, where the philological and interpretative aspects can escape in favour of purely quantitative solutions.
The adjective "interpretative", with reference to the survey, has had alternating fortunes in the history of the discipline, according to the prevalence of researchers fascinated more by the exact sciences or the humanities. It is our opinion, we guess shared, that the architectural survey should never be reduced only to the quantitative aspects of the measurement, but that these are the foundations for a subsequent critical interpretation, which allows the survey to be perfected with the qualitative aspects [Parrinello 2016].
The interpretation, although clearly subjective activity, does not pose criticalities regarding the objectivity of the survey, which today - thanks to digital integration - can and must arise from the sharing and temporal stratification of knowledge and the consequent emergence of the results of the concordant survey operations, the sum of which can make up the rule.

## State of art

Among the products of the survey, the phenomenon of the direct representation of the point cloud is growing; today the technology allows a high detail of both metric and chromatic acquisition, such as to be able to create two-dimensional drawings – product of the survey – by means of only representation of orthographic projections of the point cloud. This representation records, "reflects", but does not describe, in the critical sense of the term, the detected space, whose interpretation is left to a future user. A graphic elaborate, therefore, which is certainly one of the products of the survey but does not exhaust its objectives. The architectural survey, considered specifically in our disciplinary area, cannot go beyond a critical reading, which gets on the theoretical and methodological foundations that characterize the same area. For this reason, our interest focuses on the transformations necessary to transform the point cloud into a more "informed" model of photographic reproduction only, an obligatory path when the point cloud has to be transformed into a surface or a geometric volume [Hichri 2013].

The operational scenario of the transformation from discrete to continuous today mainly follows three paths: the manual one, the semi-automatic one, the automatic one.
The manual path is basically a trace of the point cloud. If on the one hand this operation positively sees the critical aspect of those who work in interpreting and translating the point cloud prevail, on the other it introduces a level of uncertainty and indeterminacy, such as to interrupt the scientific continuity between the quantitative data detected and its representation [Tang 2010]. The automatic path is mainly available in two different ways.
The first mode consists in the automatic segmentation of the cloud into elementary and primary surfaces (planes, spheres, cylinders, cones, toruses), identifiable on different parts of it [Croce 2019]. In this case, the automatic segmentation of the point cloud and the contextual translation into the continuous surfaces that describe the identified parts certainly maintains the scientific quality of the data detected, but describes the "uninformed as is" not "the informed as is". With these two adjectives we want to highlight the difference between two geometric models, where the identified surfaces: in the first simply optimize the quantitative data; in the second, properly hierarchized and related to each other, they normalize it. These latter operations can only arise from a philological and critical interpretation of the design. The second mode, based on expert systems of Artificial Intelligence, searches in the cloud of points, visual quality and spatial distribution of the points, similar to those present in its knowledge base, and where the feedback is positive, the procedure can segment and / or characterize the point cloud and, potentially, replace the discrete model of the identified part with the geometric and parametric model present in the knowledge base [Zhang 2019]. The adverb "potentially" is a must, since the variety of the existing architectural form is such, with respect to the available knowledge bases, that today we are far from being able to obtain a critically satisfactory result, without, at a later stage, the human intellect intervenes anyway. Finally, the semi-automatic path is considered by the scientific community to be the most suitable for producing a qualitatively better descriptive result: naturally at the expense of a consistent commitment of intellectual, computational and temporal resources [Croce 2021]. Intellectual because interpretation often requires different skills that operate on the basis of the known, but also of new study activities that reveal the unknown; computational because it makes use, in any case, of calculation operations that address or verify the hypotheses gradually identified; temporal because, of course, both the necessary resources indicated are not of an immediacy character.

## For a critical methodology of assisted geometric modeling

The semi-automatic path, which proceeds from the discrete towards the continuous, simultaneously making a quantitative data evolve into a qualitative information, is declined differently according to the nature of the object to be surveyed. In general, we can distinguish the architectural elements that can be acquired in a discrete form during a survey campaign, in the following cases of describability in continuous geometric form (fig. 01):
- not describable;
- partially describable;
- describable.
The discrete data of a survey operation is in general a point cloud, produced by one or more complementary technologies (Laser Scanning, IBM, SfM, etc.) perfected in the orientation and consolidated in the metric aspects, by a further limited and reasoned set of control points, normally made with the total station. In subsequent transformations, from discrete data to continuous data, whatever the case of describability of the form, it is necessary to proceed with the following operations:
- data normalization
- segmentation
- orientation
With the term of normalization, we want to group the operations of noise reduction of the point cloud, recalculation of normals and possible sampling decrease (fig. 02).

Fig. 01. - The Arch of Titus, in the Roman Forum, is a notable example of the coexistence of the describable (!), partially describable (≈) and non-describable (?) architectural partitions, in geometrical form. Image by authors.

These operations are made available in various forms by current point cloud processing software. In applying them, it is necessary to make sure that there is no modification of the original "objective-instrumental" data, but only a careful selection of it.
For example, the noise reduction should eliminate the singular points, with respect to the distribution detected on the cloud, but not proceed to a global bevel of all the points, which would determine a new position for them. Similarly, if it were necessary to reduce the amount of data on which to operate, a sub-sampling must be carried out, an operation which extracts a reduced number of objective points, but not a re-sampling, which would generate a new cloud losing the identity with the points detected. The recalculation of the normals, while taking the form of a transformation of the objective-instrumental data detected, in the experiments carried out has appeared a useful corrective tool, since it does not change the position of the points and helps to refine the information of the surface to which they belong.
During the phases of importing and exporting files from one software to another, it is possible that some of these negative activities are performed by the software without the operator being aware of it (fig. 03).

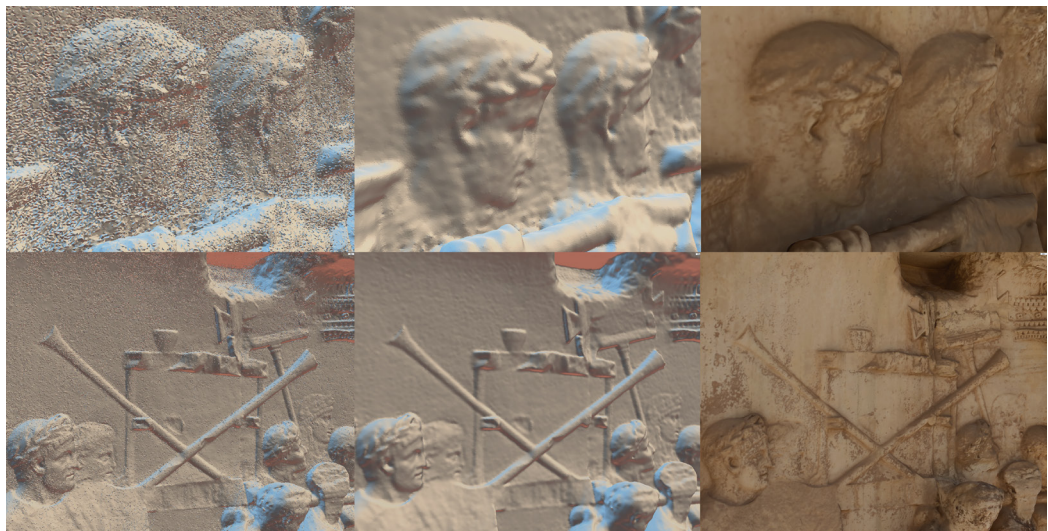



Fig. 02. Recalculation of the normals associated with the point cloud and application of the noise reduction algorithm. Partial and detailed view of the polyhedral model produced via Image Based Modeling. Arch of Titus sculptural apparatus, south-west side: entrance of the procession into the Porta *Triumphalis*. Image by authors.

Fig. 03. Normalization, cleaning and export operations can generate new polyhedral models (right), perceptually similar, but no longer corresponding to the measured point cloud (center). Image by authors.

The segmentation of the cloud into minor parts is necessary to carry out the automatic recognition activities of the surfaces belonging to the point cloud in the least equivocal way [Xie 2020]. Algorithms such as Ransac [Schnabel 2007] are able to identify groups of points whose distribution can be associated with planes, spheres, cones, cylinders, toruses. Theoretically, this kind of algorithm could operate on the whole cloud, but application experience teaches that providing selective data allows for better and less ambiguous results. The automatic recognition of surfaces is essential to define the accuracy of their orientation. For example, the identification of the cylinder that best approximates the first lower third of a column, provides clear indications on the verticality or otherwise of its axis. Similarly, the distribution of the centers of the toruses of the base can provide a clear indication of the centering of the shaft on the base (fig. 04).
Once the three common data normalization operations have been consolidated, te completion of the path is significantly different, according to the acquired form.

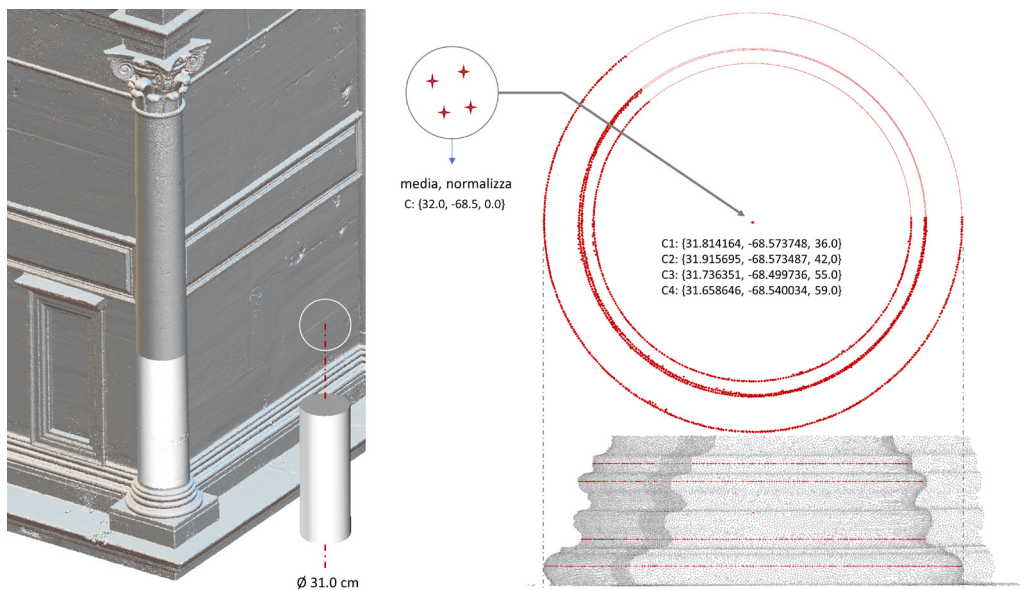



Fig. 04. The best-fit algorithm, with respect to cylinder and circumferences, used to identify the diameter and axis of the shaft of the column and the most likely center of the base. The identified measures are normalized and interpreted before being used in modeling. Image by authors.

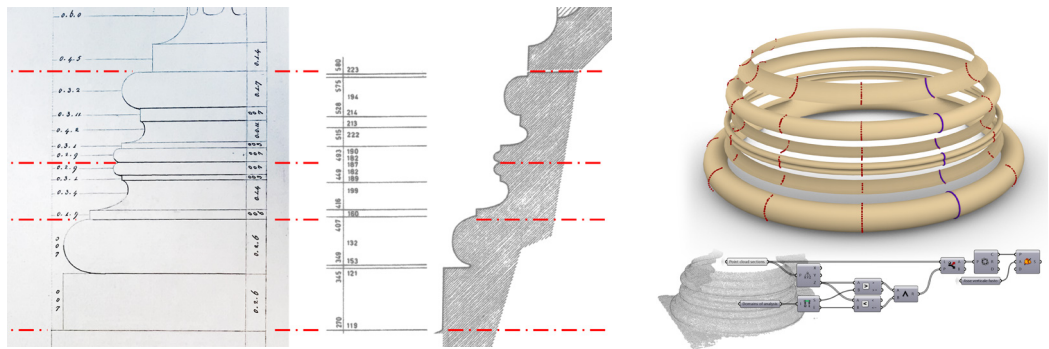
### Describable geometric shape elements

In the elements that can be described, the digital representation in continuous geometric form is guided by the design documentation found or by the alternative philological interpretation (fig. 05) [Rossini 1836; Pfnanner 1983]; operations in which the measure will serve as a reference only to verify and understand the possible executive or intervened distance due to the action of time. The geometric model will therefore be conceived with reference to its ideal shape, but with a high level of parameterization, such as to be able to assume – in digital work – as well as the obvious dimensional variations, even those slightly out of square and out of plumb, which commonly characterize the built architecture.
The measures to be associated with the parametric model will be logically normalized, on the one hand to values consistent with the uncertainty of the survey, on the other to the hypothetical design and production measure: threshold value which, for both reasons, can hardly be assumed to be lower than 3 mm. In other words: it would not have meant associating to a parametric model a measurement – product of elaborations – that values the hundredth of a millimeter, since it is not significant either of the instrumental precision, nor of a design measure, or even of a machining precision (fig. 06).

### Elements of non-describable geometric shape

In non-describable elements, such as decorative and sculptural apparatuses, where millimeter detail plays a non-negligible role for the description of the work, the preferable way to balance computational aspects and quality of representation, is still today the polyhedral representation (mesh). The simplest and most suitable for representing the continuous and millimetric alternation between sharp edges and rounded surfaces. In this way, the model is not substantially informed, but we can consider it to be right as it describes a free, intuitive form, which does not contain a design idea in the geometric sense of the term.

Fig. 05. Survey of the base of the composite order of the Arch of Titus. Pfanner (1993) chooses to return only the quantitative data: the "as it is". Rossini (1836) characterizes the quantitative data, with the qualitative geometric: it is not exactly an ideal model, rather an "informed as is".

Fig. 06. Toroidal surfaces of the base of the composite order, designed by Raffaele Stern for the restoration of the Arch of Titus, to integrate the original Roman remains. The model of interpretative survey of the form, based on the qualitative datum, is adapted and tested on the quantitative datum. Image by authors.

### Elements of partially describable geometric shape

Finally, the partially describable elements have geometrically recognizable parts and other parts of irregular, free form. They are usually architectural partitions compromised in shape by the action of time or characterized by the coexistence of geometric elements alternating with free-form decorative parts. In these cases, we could of course proceed with a multifaceted model, perfectly relevant to the quantitative datum, but it would lack qualitative geometric information; alternatively we could proceed with a qualitative geometric model, which however could significantly detach itself from the quantitative datum. The third way, which we would like to recommend in these cases, is that of the automatic but carefully regulated remeshing [Lucidi 2021] of the quantitative model, aimed at defining a model of SubD surfaces [Catmull 1978; Stam 1998; Li 2009].

If performed with particular precautions, this procedure respects and considerably optimizes the quantitative data and can retain some qualitative information regarding the represented geometry: symmetries, alignments, radiality, generatrixes and directrixes (fig. 07).

## Conclusions

The architectural survey, as characterized in the theoretical and methodological principles of the disciplinary scientific area of *Disegno*, should always have at the center of its operational focus the presence of a critical act, which is not limited to recording the existence of the work, but you reveal the formal principles. The procedural automatisms that are spreading today, accelerate processes and provide tools that take away space for critical reflection and the correct representation of the data detected; in the present, their use must be carefully codified and, in the future, their development must be strongly guided. It is therefore important that the community of the *Disegno* continues to feed with commitment the vision, the objectives and the founding principles of the architectural survey that is most proper to it.

Fig. 07. The remeshing of polyhedral models by means of *SubD* surfaces, if correctly guided, can optimize the representation of the free form and at the same time keep some geometric properties evident. Image by authors.

## References

Catmull, E., & Clark, J. (1978). Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. Computer-aided design, 10(6), 350-355.

Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Jacquot, K., Piemonte, A., & Véron, P. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. *Remote Sensing*, 13(3), 461.

Croce, V., Caroti, G., Piemonte, A., & Bevilacqua, M. G. (2019, December). Geomatics for Cultural Heritage conservation: Integrated survey and 3D modeling. In *Proceedings of the IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo, Florence, Italy* (pp. 4-6).

Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P., & Hamon, G. (2013). From point cloud to BIM: a survey of existing approaches. In *XXIV International CIPA Symposium* (p. na). Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium.

Li, X., Han, C. Y., & Wee, W. G. (2009). On surface reconstruction: A priority driven approach. *Computer-Aided Design*, 41(9), 626-640.

Lucidi, A., Giordano, E., Clementi, F., & Quattrini, R. (2021). Point Cloud Exploitation for Structural Modeling and Analysis: a Reliable Workflow. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 43, 891-898.

Parrinello, S., Picchio, F., & Bercigli, M. (2016). The 'migration'of reality in virtual scenarios: databases and documentation systems for the musealization of complex environments. *Disegnarecon*, 9(17), 14-1.

Pfanner, M., & Hess, U. , Schwanke, H.. (1983). Der Titusbogen Mainz am Rhein Verlag Philipp von Zabern.

Rossini, L. (1836). Gli archi trionfali onorarii e funebri degli antichi romani sparsi per tutta Italia disegnati, misurati, ristaurati ed incisi : opera architettonica, pittorica, e figurativa. Roma presso l'autore.

Stam, J. (1998, July). Exact evaluation of Catmull-Clark subdivision surfaces at arbitrary parameter values. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 395-404).

Schnabel, R., Wahl, R. and Klein, R. (2007), Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. Computer Graphics Forum, 26: 214-226. https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2007.01016.x

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques.
*Automation in construction,* 19(7), 829-843.

Turco, M. L., & Santagati, C. (2016, October). From SfM to semantic-aware BIM objects of architectural elements. In *Euro-Mediterranean conference* (pp. 600-612). Springer, Cham.

Xie, Y., Tian, J., & Zhu, X. X. (2020). Linking points with labels in 3D: A review of point cloud semantic segmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(4), 38-59.

Zhang, J., Zhao, X., Chen, Z., & Lu, Z. (2019). A review of deep learning-based semantic segmentation for point cloud. *IEEE Access*, 7, 179118-179133.

Authors
*Graziano Mario Valenti,* Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, grazianomario.valenti@uniroma1.it
*Alessandro Martinelli,* Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, alessandro.martinelli@uniroma1.it

*To cite this chapter*: *Per citare questo capitolo*: Valenti Graziano Mario, Martinelli Alessandro (2022). Sulla qualità geometrica del modello di rilievo/On the geometric quality of the survey model. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2937-2952.


Isbn 9788835141938